

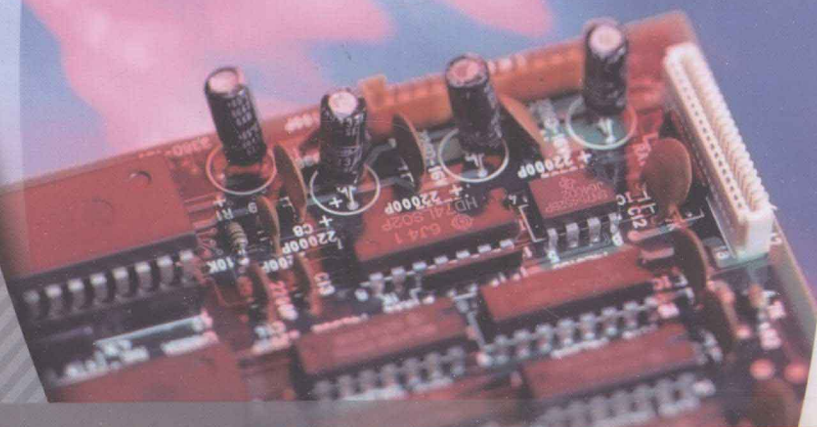


高职高专“十二五”规划教材·机械电子类

电路与电机 控制技术

沈姝君 段剑文 主编

DIANLUYUDIANJI
KONGZHISHU



中国海洋大学出版社

高职高专“十二五”规划教材·机械电子类

电路与电机控制技术

主 编 沈姝君 段剑文
副主编 吴晓苏 陈国强 魏爱平

中国海洋大学出版社
· 青 岛 ·

内 容 简 介

本书为配合电路电机项目化教学需要,采用“任务驱动”思路编写而成。本书按照学生的学习规律,遵循由浅入深、循序渐进的原则,分为7个项目包括,直流电路的安装、测试与分析;正弦交流电路的安装、测试与分析;变压器的应用与维修;安全用电技术;常用电工仪表的使用;直流电动机的控制与维修;交流电机的维修与拆装。

本书从教与学的角度出发,以应用为主线,注重任务导入案例的实用性,经过层层分析后引入相关知识点,同时配以大量实物图片,接近工作、生活实际。各项目内容编排充分合理,使知识结构连贯紧凑,编写时弱化公式的推导,注重知识的实际应用,有助于读者的理解与实践。此外,还精选习题,组织相应知识点,达到巩固所学、举一反三、学为所用的目的。

本书可作为高职高专机电一体化、电气控制、数控及模具等专业的教材,也可作为相关专业岗位培训和自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电机控制技术/沈姝君,段剑文主编. —青岛:中国海洋大学出版社,2011.9

ISBN 978-7-81125-878-3

I. ①电… II. ①沈…②段… III. ①电路②电机—控制系统
IV. ①TM13②TM30

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 182854 号

出版发行 中国海洋大学出版社

社 址 青岛市香港东路 23 号

邮政编码 266071

网 址 <http://www.ouc-press.com>

电子信箱 bjzhangxf@126.com

责任编辑 矫恒鹏

印 制 北京天正元印务有限公司

版 次 2011 年 9 月第 1 版

印 次 2011 年 9 月第 1 次印刷

印 数 1-3000 册

成品尺寸 185mm×260mm 1/16

印 张 14.25

字 数 335 千字

定 价 34.00 元

前 言

本书是高等职业教育机电类专业的专业基础课程教材,是依据 21 世纪教学内容和课程体系改革计划的基本要求,编者总结多年的教学实践经验,按照项目化教学组织方式进行编写的。

本书结合“电机与电气控制”的课程改革与建设,由学校、企业和行业专家组成教材编写组合作开发。本教材彻底打破课程的学科体系,打破理论和实践教学的界线,在内容上为“双证融通”的专业培养目标服务,在方法上适合“教学做”一体的教学模式改革。即在“双证融通”的专业培养目标指导下,将课程内容与技能认证的需要相融合,确定为若干专题进行学习和探索。每个专题内容由课程编写小组从企业生产实践选题,再设计成教学项目,试做后编入教材,做到学生需要什么就教什么,教什么就练什么,练什么就会什么,重视职业技能训练和职业能力培养。同时,本书加强了新技术、新工艺、新方法、新知识的介绍。

本书的参考教学时数为 84 学时,每个项目分为若干工作任务,通过做一做、学一学、想一想、读一读、查一查和练一练等形式,引导学生在职业实践过程中提高职业技能、掌握相关的职业知识、培养良好的职业道德和职业情感。

本书在编写过程中突出如下特色:

- (1) 将电阻和电源放在一起讲授,强调电能的消耗(电阻)和生产。
- (2) 在交流电路中全方位探讨电容、电感的特性和规律。
- (3) 打通直流电路和正弦交流电路的分析法的隔阂,鲜明地阐述其内在的统一性。
- (4) 增加三相异步电动机的维护和故障分析一节的内容。
- (5) 增加电力拖动基础,简单勾勒低压电器的工作原理和使用注意事项。
- (6) 增加触电急救和基本安全用电,尤其是增加节约用电知识,讲述节约用电技术。
- (7) 选择的语言力求通俗易懂,精炼准确,术语的引入节奏合理,不让读者产生晦涩难懂的感觉。

本书由沈姝君、段剑文任主编,吴晓苏、陈国强、魏爱平任副主编,魏宏玲参加编写。

由于编者水平所限,书中如有不足之处敬请使用本书的师生与读者批评指正,以便修订时改进。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议,恳请向编者(bjzhangxf@126.com)踊跃提出宝贵意见。

编 者

目 录

项目 1 直流电路的安装、测试与分析.....1	项目 3 变压器的应用与维修 76
任务 1.1 建立直流电路模型.....1	任务 3.1 变压器的分类与结构..... 76
1.1.1 描述电路的基本物理量.....2	3.1.1 变压器的分类..... 77
1.1.2 负荷和电源4	3.1.2 变压器的结构..... 79
任务 1.2 认识电流的基本作用与 电路的工作状态.....15	任务 3.2 变压器的工作原理..... 83
1.2.1 电流的基本作用16	3.2.1 基本原理 84
1.2.2 电路的基本定律21	3.2.2 变压器的空载运行..... 84
1.2.3 电路的状态25	3.2.3 变压器的负载运行..... 86
任务 1.3 分析电路与计算.....28	任务 3.3 三相变压器的应用..... 90
1.3.1 基尔霍夫定律28	3.3.1 认识三相变压器..... 91
1.3.2 戴维南定理33	3.3.2 三相变压器的连接组别..... 92
思考与练习37	3.3.3 标准连接组别..... 93
项目 2 正弦交流电路的安装、测试与 分析.....38	3.3.4 变压比、电压、电流和 功率等参数的计算..... 94
任务 2.1 认识交流电路的性质与 表示方法38	任务 3.4 特殊变压器应用..... 96
2.1.1 正弦交流电的基本概念.....39	3.4.1 自耦变压器 96
2.1.2 正弦交流电的相量表示 方法42	3.4.2 仪用变压器 98
任务 2.2 分析计算正弦交流电路.....46	3.4.3 电焊变压器 101
2.2.1 单一参数的交流电路47	3.4.4 差动变压器 102
2.2.2 一般交流电路的分析计算.....53	任务 3.5 变压器的维修..... 103
任务 2.3 交流电路的功率因数.....60	3.5.1 变压器绕组、绝缘故障 原因分析及解决方法..... 103
2.3.1 正弦交流电的功率60	3.5.2 变压器直流电阻不合格、 断路和短路故障 104
2.3.2 功率因素的提高61	3.5.3 变压器油不合格的原因、 防止措施和判定方法..... 105
任务 2.4 认识三相交流电路.....64	3.5.4 变压器铁芯过热故障的 原因分析及解决方法..... 106
2.4.1 三相交流电的产生和 表示方法65	3.5.5 变压器铁芯接地、短路 故障的检测 107
2.4.2 三相电源的联结66	3.5.6 变压器运行方式、改接、 改造及综合修理 107
2.4.3 三相交流电路的计算67	思考与练习..... 108
思考与练习75	

项目 4 安全用电技术	109
任务 4.1 安全用电的相关规定	109
4.1.1 电工安全操作技术方面的有关规定	109
4.1.2 安全检查和有关规定	110
4.1.3 文明生产方面的有关规定	111
任务 4.2 预防触电及触电急救	111
4.2.1 触电的原因及其危害	111
4.2.2 触电的种类	112
任务 4.3 防雷保护	115
4.3.1 雷电的种类	116
4.3.2 雷电的危害	116
4.3.3 常用防雷装置	117
任务 4.4 节约用电	118
4.4.1 我国《节约用电管理办法》的主要特点	119
4.4.2 电力需求侧管理规范	119
思考与练习	126
项目 5 常用电工仪表的使用	127
任务 5.1 认识万用表	127
5.1.1 仪表准确度等级	127
5.1.2 指针式万用表的结构和工作原理	128
5.1.3 数字式万用表的外形及测量范围	130
5.1.4 用万用表测量电阻时的注意事项	131
5.1.5 仪表保养	131
任务 5.2 用兆欧表测电动机绝缘电阻	133
5.2.1 兆欧表的构成和用途	133
5.2.2 绝缘电阻表的选用原则	133
5.2.3 兆欧表的使用方法	133
5.2.4 三相异步电动机定子绕组绝缘电阻的要求	134
任务 5.3 用钳形电流表测电流	135
5.3.1 钳形电流表的构成及用途	135
5.3.2 钳形电流表的原理	135
5.3.3 钳形电流表的使用方法	135
任务 5.4 用单臂电桥测电阻	137
5.4.1 直流单臂电桥的工作原理	137
5.4.2 直流单臂电桥的使用方法	137
任务 5.5 用双臂电桥测电阻	139
任务 5.6 用功率表测量功率	141
5.6.1 电动式功率表的结构及工作原理	141
5.6.2 单相功率表的选用及接线规则	142
5.6.3 三相功率表的选用及接线规则	143
任务 5.7 用电度表测电能	143
5.7.1 电度表类型的选择	144
5.7.2 单相电能的测量	144
5.7.3 对称三相四线制电能的测量	145
5.7.4 不对称三相四线制电能的测量	145
5.7.5 三相三线制电能的测量	145
5.7.6 电度表与电流互感器的连接	146
5.7.7 电度表的读数	147
思考与练习	147
项目 6 直流电动机的控制与维修	148
任务 6.1 直流电动机的结构、原理与维修	148
6.1.1 直流电机的工作原理	149
6.1.2 直流电机的结构	150
6.1.3 直流电动机的励磁方式及铭牌	154
6.1.4 直流电动机的机械特性	155
6.1.5 直流电动机的故障分析及维护	160
任务 6.2 直流电动机的启动控制	164
6.2.1 低压电器的基本知识	165
6.2.2 开关电器	167

6.2.3 直流电动机的启动与反转.....	178	7.1.4 三相异步电动机的空载 和负载运行	200
任务 6.3 直流电动机的调速控制.....	182	7.1.5 三相异步电动机的控制.....	201
6.3.1 直流电机	183	任务 7.2 三相异步电动机的启动	202
6.3.2 电力拖动	186	7.2.1 直接启动	203
任务 6.4 直流电动机的制动控制.....	188	7.2.2 降压启动	203
6.4.1 直流电机的制动	188	任务 7.3 三相异步电动机的调速	206
6.4.2 直流电机的应用	193	7.3.1 变极调速	207
思考与练习	194	7.3.2 变频调速	207
项目 7 交流电机的维修与拆装.....	195	7.3.3 变转差率调速.....	208
任务 7.1 交流电动机的结构、原理 与维修	195	任务 7.4 三相异步电动机的制动	209
7.1.1 三相异步电动机的铭牌.....	198	7.4.1 机械制动	210
7.1.2 三相异步电动机的额 定值	199	7.4.2 电气制动	210
7.1.3 三相异步电动机的基本 工作原理	199	思考与练习	215
		附录 电阻、电容和电感元件 实践指南	216
		参考文献	220

项目 1 直流电路的安装、测试与分析

近来随着对直流调压技术的推广,直流电以其稳定的特点广泛应用于各种电子仪器,电解,电镀,直流电力拖动等方面。现在工业上利用各种现代化的控制技术,电机的转速和稳定性都得到良好的控制。在电力输电方面,直流输电以其输电容量大、稳定性好、控制调节灵活等优点受到电力部门的欢迎,为电能高效传输开辟了广阔的前景。

任务 1.1 建立直流电路模型

教学目标

- (1) 认识电路的基本组成元件,把握电路的基本特征。
- (2) 了解电路的基本组成要素,认识理想电路元件和电路的理论模型组成。
- (3) 掌握描述电路的基本物理量及含义。

任务引入

电气知识的应用领域非常广泛,并适用于人们日常生活的许多方面,像收音机、摄像机、数码相机、DVD 播放机、微波炉、电烤箱和烤面包机等。除了这些设备之外,就连一些简单的设备,也仍然具有电的性质。例如,最近发展起来的激光指示器,本质上讲就是一个专门的手电筒,而这些都是相当基本的电路应用。

不仅是这些新型的越来越多的产品属于用电设备,像成熟稳定的电话系统也是由简单的电子元件构成的电路系统。

尽管随着技术的进步,电话表现方式(如移动电话)有所不同,但其系统的基本性质仍然是大同小异的。

由于各种电路功能不同,其组成形式千差万别,因此研究方法也不尽相同。如图 1-1 所示为日常生活中最简单的照明电路,下面将通过它找出电路的共同规律。

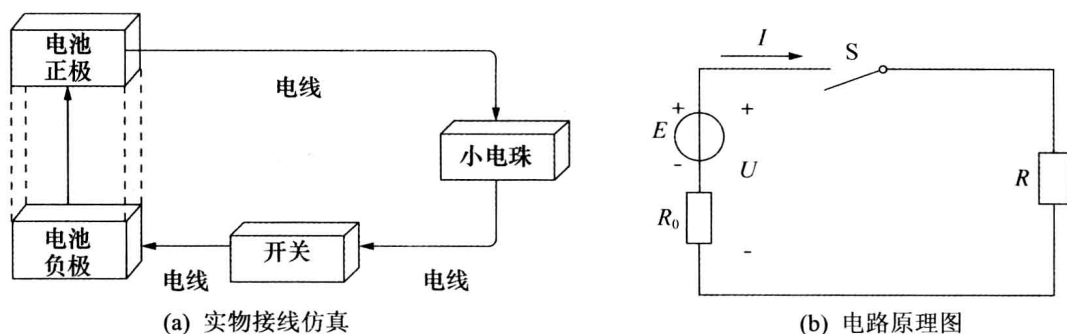


图 1-1 照明电路的工作原理

任务分析

从图 1-1(a)可以看出,电源用的是普通干电池(根据需要也可以用蓄电池或其他形式电源替代),负荷是一个微型灯泡,用开关控制电路的开和闭。为便于进行研究,采用如图

1-1(b)所示的与实体电路相对应的电路图来描述图 1-1(a)中的电路行为,称为实体电路的电路模型。

电路模型中的所有元件均为理想电路元件。实际电路元件的电特性是多元的、复杂的,而理想电路元件的电特性是精确的、唯一的。每个理想元件用一个符号来表示,该符号指示该元件(或组件)的行为。例如,按照惯例,在电池符号中,较长线代表了每个单元的正极,电池的电压通常指定在旁边。

相关知识

1.1.1 描述电路的基本物理量

1.1.1.1 电流及方向

电流是电荷定向移动形成的。物理上规定:“电流的方向是电子定向流动的反方向或者正电荷的流动方向。”电流强度等于单位时间内通过导体横截面的电荷量,用 I 表示,其标准单位是安培(A),常用的单位还有 mA、kA、 μ A 等。它们之间的关系为: $1\text{A}=1\,000\text{mA}$; $1\text{mA}=1\,000\mu\text{A}$; $1\text{kA}=1\,000\text{A}$ 。

要指出的是:金属导体中的电流实际上是电子定向运动产生的。可见,“规定的电流方向”与实际电子运动的方向是相反的。产生这样的认识错误,是由于美国的本杰明·富兰克林的误解,1897 年英国汤姆生发现电子的时候,这个观念已经渗入到全世界。不过,由于没有因这个认识产生计算错误的情况发生,所以,今天“电子在正的方向流动,那个相反的流动则作为电流”成为约定的认识。

特别提示:

在电路分析计算时,对电流可以人为规定方向,称为参考方向。因为在复杂电路中很难事先判断出元件中物理量的实际方向,在实际分析计算时可以按以下步骤进行。

- (1) 在电路分析前先任意设定一个正方向(用箭头),作为参考方向。
- (2) 根据电路的定律、定理,列出物理量间相互关系的代数表达式。
- (3) 根据计算结果确定实际方向。

若计算结果为正,则实际方向与假设的参考方向一致;若计算结果为负,则实际方向与参考方向相反;若未标参考方向,则结果的正、负无意义。

1. 直流电流

像普通干电池电源那样,电流流动方向不变的电流就称为直流,用符号 DC 表示。直流是用直流发电机(交流电动机驱动)产生的。交流电通过硅整流器整流也可以产生直流,但这不是完全的直流电,其中或多或少有交流脉动成分。与之相区别,像电池电源这样发出的直流电称之为稳恒直流电,如图 1-2 所示。

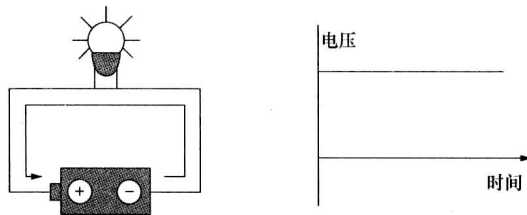


图 1-2 直流电流

图中用箭头标出的是电子的流动方向, 电流的方向与之相反。

2. 交流电流

电压大小和电流流动方向随时间变化的电流为交变电流, 简称交流, 用符号 AC 表示。其中, 按正弦曲线波形变化的交流电称为正弦交流电, 如图 1-3 所示。

除正弦交流电外, 还有按方波、三角波等变化的交流信号。

特别提示:

交流电的优点是利用变压器可以很容易地对交流电压大小进行变换, 其原理在后边进行分析。

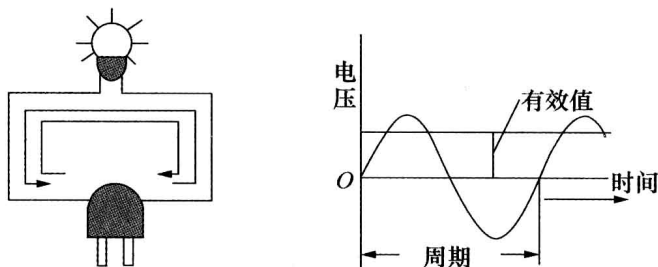


图 1-3 交流电流

1.1.1.2 电压与电位

1. 电压

就像水从高的位置往低的位置流动一样, 电流从高电位向低电位流动, 如图 1-4 所示。

为了让电子流动, 必须要有电压。和水位类似, 电位的差称为电位差。为使电子能流动, 作为推动的力量——电位差, 一般被称做电压, 用 U 表示, 电压的标准单位是伏特(V), 常用的单位还有 kV、mV、 μ V 等。各单位之间的换算关系是: $1\text{kV}=1\,000\text{V}$; $1\text{V}=1\,000\text{mV}$; $1\text{mV}=1\,000\mu\text{V}$ 。

和用箭头表示电流的参考方向类似, 在电路分析计算前可以在电路图上标示电压的方向, 称为参考方向。电压参考方向的表示方式除可用极性“+”、“-”表示外, 还可用双下标或箭头表示。

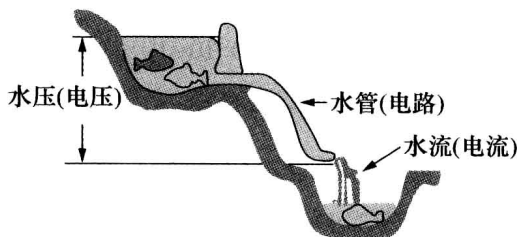


图 1-4 水流和电流的对比

2. 电位

电路中某点至参考点的电压称为电位。通常设参考点的电位为零。某点电位为正, 说明该点电位比参考点高; 某点电位为负, 说明该点电位比参考点低。电压常用双下标表示, 而电位则用单下标表示, 电位的单位也是伏特(V)。

设置参考电位的另一个原因是为了简化电路图(当电路中只有两三个元器件时, 问题较

简单,但可以想象,一个现代的电视接收机甚至是一个无线电接收器的最终完成图是相当复杂的,所以必须用一种方法来减少显示电路中连接线路的数量)。具体做法就是设置一个电路连接的共同点作为参考点来供所有的电气进行测量,这个公共的电气连接点被称为接地参考(ground reference)或简称为接地(ground),用符号“⊥”表示。电路图中标有接地符号的部分被认定为在电气上相互连接,尽管大多并没有明确的连接显示。

有时,电路常常是在金属底盘上安放的,这种情况下,机箱除提供电路的机械支撑外,本身就可以作为常用的电气接地面。

【例 1-1】在如图 1-5 所示的电路中,O 为参考点,各元件上电压分别为 $U_{S1}=20V$, $U_{S2}=4V$, $U_1=8V$, $U_2=2V$, $U_3=5V$, $U_4=1V$ 。试求 U_{ac} 、 U_{bd} 、 U_{be} 和 U_{ae} 的值。

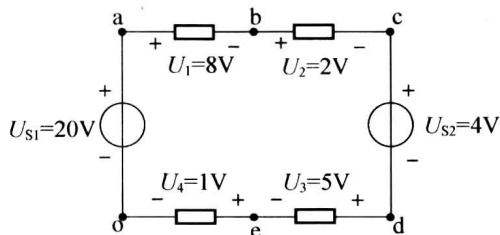


图 1-5 例 1-1 图

解: 选 O 点为参考点, 所以 O 点的电位 $V_0=0$ 。其他各点到参考点的电位分别为

$$V_a = U_{S1} = 20V$$

$$V_b = -U_1 + U_{S1} = -8 + 20 = 12V$$

$$V_c = -U_2 - U_1 + U_{S1} = -2 - 8 + 20 = 10V$$

$$V_d = U_3 + U_4 = 5 + 1 = 6V$$

$$V_e = U_4 = 1V$$

可求出两点间电压分别为

$$U_{ac} = V_a - V_c = 20 - 10 = 10V$$

$$U_{bd} = V_b - V_d = 12 - 6 = 6V$$

$$U_{be} = V_b - V_e = 12 - 1 = 11V$$

$$U_{ae} = V_a - V_e = 20 - 1 = 19V$$

1.1.2 负荷和电源

在电路中,吸收电能或输出信号的器件称为负荷或负载(Load);提供电能或信号的器件称为电源(Source);在电源和负载之间起引导和控制电流作用的导线和开关等称为传输控制器件(又称中间环节)。

1.1.2.1 电阻

电流流动的时候,有一种阻碍这个流动的作用,这种阻碍作用的大小叫电阻,用 R (英

语 Resistance 的第一个字母)表示,单位是欧姆(Ω)。电阻的电路符号国内一般采用 DIN 标准,用“ $\square$ ”表示,国际上大多采用 ANSI 标准,用“ $\text{—}\text{W}\text{—}$ ”表示。本书全部采用 ANSI 标准符号。

1. 电阻的性质与形式

不同材料的物体对电流的阻碍作用即电阻是不同的。此外,电阻(R)还与物体的长度(L)成正比,而与其横截面积(S)成反比,这种关系用公式表述为

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

其中, ρ 表示电阻率,与物体材料的性质有关,在数值上等于单位长度、单位截面积的物体在 20°C 时所具有的电阻值。

此外,导体的电阻大小还与温度有关系。对于金属,其阻值随着温度的升高而增大;对于碳,其阻值随温度的升高而减小。

电阻的倒数称为电导,用 G 表示,即 $G = \frac{1}{R}$ 。单位是西门子,符号为 S。

实际电路中使用的电阻上一般标有两个参数(ratings)或值(values)。第一个参数是“阻值”,大小用欧姆表示;第二个参数是“功率”,表示没有过热及燃烧时消耗电源能量的数量。在大多数应用中,功率的典型值是 $1/8$ 和 $1/4\text{W}$,更高功率的应用中还有 1、2、5 或 10W ,甚至更高。

电阻按结构可分为固定电阻和可调电阻两大类。固定电阻的种类很多,常用的有线绕式、薄膜(碳膜、金属膜、金属氧化膜)式、金属玻璃釉电阻器(贴片式)等,如图 1-6 所示。

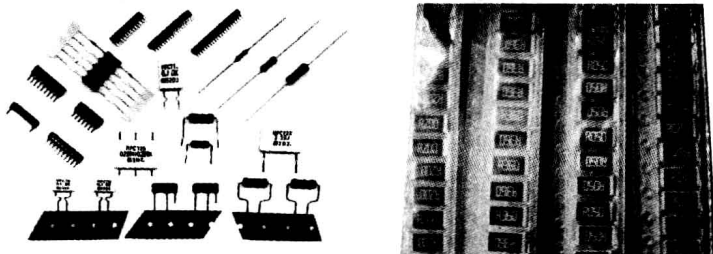


图 1-6 各种各样的电阻

传统普通低功率电阻的结构一般是一个碳合成材料圆柱体,如图 1-6 所示。高功率电阻器通常用电阻丝(镍铬合金或某种类似材料制成),这样可以通过大电流,并能承受高温。

2. 电阻数值标识方法

电阻数值有两种标识方法:一种是直接用数字标出;另一种是用不同的色环标出。各种颜色的含义如图 1-7 所示。

靠近电阻端的是第一色环,顺次是第二、三、四色环。前二环代表电阻有效值,第三环代表乘上的次方数,第四环表示误差。例如:有一个碳质电阻,它有四道色环,顺序是红、紫、黄、银。这个电阻的阻值就是 $270\,000\Omega$,即

Brown	$\pm 1\%$
Red	$\pm 2\%$
Gold	$\pm 5\%$
Silver	$\pm 10\%$

Black	0	$\times 1$	
Brown	1	$\times 10$	$\pm 5\%$
Red	2	$\times 100$	
Orange	3	$\times 1000$	
Yellow	4	$\times 10000$	
Green	5	$\times 100000$	
Blue	6	$\times 1000000$	
Purple	7	$\times 10000000$	
Grey	8	$\times 100000000$	
White	9	$\times 1000000000$	

Gold	$\pm 5\%$
Silver	$\pm 10\%$

图 1-7 电阻色环标识识别

270k Ω , 误差是 $\pm 10\%$ 。现在的电阻色环法还有用 5 色环的, 一般是金属膜电阻, 这种标识是为了更好地表示精度。用 4 个色环表示阻值, 另一个色环表示误差。方法一样, 就是第一、第二、第三环是位数, 第四环是乘的次方数, 第五环是误差值。

贴片电阻器的阻值和一般电阻器一样, 在电阻体上标明, 但标识与一般电阻器不完全相同。它的第一位和第二位为有效数字, 第三位表示在有效数字后面所加 0 的个数。例如: 472 表示 4 700 Ω ; 151 表示 150 Ω 。

如果是小数, 则用 R 表示“小数点”, 并占用一位有效数字, 其余两位是有效数字。例如: 2R4 表示 2.4 Ω ; R15 表示 0.15 Ω 。

还有一种是数字代码与字母混合标识法, 也是采用三位符号标明电阻阻值, 即“两位数字加一位字母”, 其中两位数字表示的是 E 96 系列电阻代码, 具体可查阅相关资料, 第三位是用字母代码表示的倍率。

3. 电阻在电路中的连接

电阻可以串联、并联或者串并混合连接在一起共同发挥作用。

(1) 电阻的串联。串联连接(流过同一电流)后形成的电阻, 如图 1-8 所示。其总阻值是各自阻值之和, 即

$$R = R_1 + R_2$$

图 1-8 中一个 20 Ω 和一个 80 Ω 的电阻串联后得到的总阻值是 100 Ω 。串联的主要目的是用来分压, 如图 1-9 所示, 其大小为

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

(2) 电阻的并联。并联连接(电阻两端为同一电压)后合成的电阻, 如图 1-10 所示。其总阻值的倒数是各自电阻值之倒数和, 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

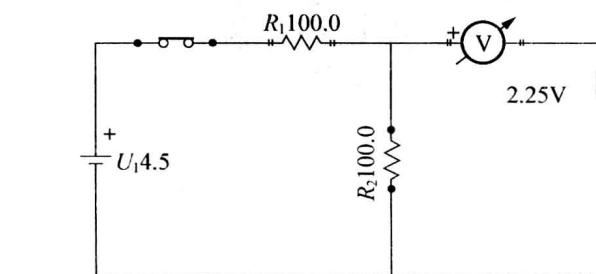


图 1-9 串联分压作用

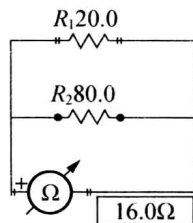


图 1-10 电阻的并联

图 1-10 中一个 20 Ω 和一个 80 Ω 的电阻并联后得到的总阻值为 16 Ω 。并联的主要目的是用来分流, 如图 1-11 所示。

在如图 1-11 所示的电路中, 有

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

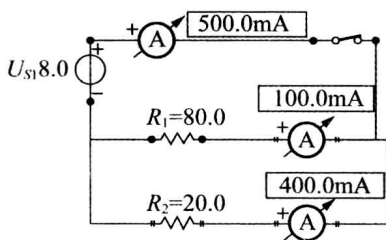


图 1-11 并联分流作用

4. 特殊电阻

在实际电路中，根据使用场合的不同，电阻有多种形式。

(1) 水泥电阻。水泥电阻器是一种采用陶瓷绝缘的功率型线绕电阻器(例如彩色电视机中的大功率电阻)，其优点是功率大，缺点是有电感，体积大，不宜作阻值较大的电阻，如图 1-12 所示。

(2) 保险电阻。保险电阻是一种具有保险丝(熔断丝)和电阻双功能的元件，它经常使用在电源电路和电机驱动电路中，如图 1-13 所示。保险电阻外形和普通电阻相似，在正常情况下，具有普通电阻的功能；一旦电路出现故障，该电阻可在规定的时间内熔断使电路开路，从而起到保护其他电路元器件的功能。

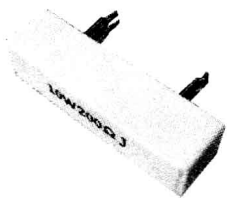


图 1-12 水泥电阻

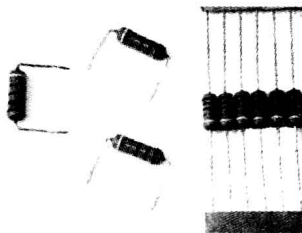


图 1-13 保险电阻

(3) 热敏电阻。热敏电阻是阻值随温度变化而变化的电阻，其常见外形如图 1-14 所示。右边是 CPU 插槽下的热敏电阻，这里，热敏电阻的作用是探测 CPU 的温度，和控制电路配合防止 CPU 温度过高而损坏。

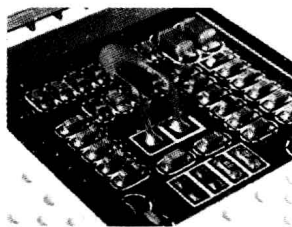


图 1-14 热敏电阻

热敏电阻应用广泛，例如电视机中的消磁电阻，当温度增加时其电阻值迅速增加，使消磁电流迅速减小。这类随温度升高而阻值增加的热敏电阻称为正温度系数电阻器，另外一种电阻值随温度增加而变小的热敏电阻，称为负温度系数电阻。

(4) 湿敏电阻。湿敏电阻常作为传感器，用于检测湿度。例如在 DV 的磁鼓旁设置一个

湿敏电阻，就可以用来保护精密的磁鼓不被磨损(因为当湿度过大时磁鼓会结露水)。湿敏电阻的特点是随湿度的增加电阻值增加，如图 1-15 所示。

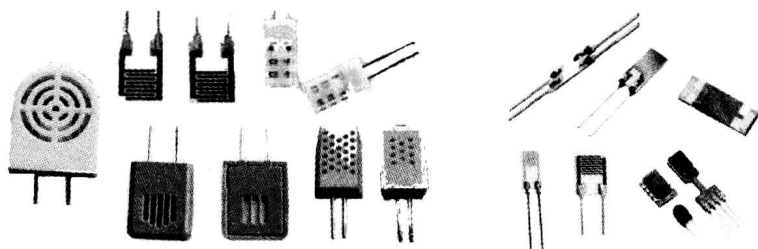


图 1-15 湿敏电阻

(5) 光敏电阻。光敏电阻大多是由半导体材料(其特性在模块 3 中详细介绍)制成的，当入射光线增强时，其阻值会明显减小，而光线减弱时，它的阻值会显著增大，如图 1-16 所示。

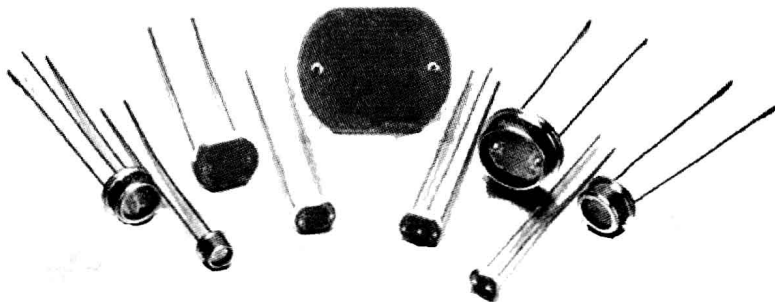


图 1-16 光敏电阻

光敏元件的用处非常大，例如打印机、复印机的进纸检测、光控开关等。

根据光敏电阻的光谱特性，光敏电阻又可分为红外光光敏电阻器、可见光光敏电阻器及紫外光光敏电阻器等。

(6) 磁敏电阻。磁敏电阻的阻值随穿过它的磁通密度的变化而变化，具有很高的灵敏度。其中最具代表性的是霍尔器件，可在各种与磁场有关的场合中使用，如图 1-17 所示。

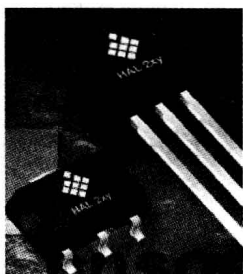


图 1-17 霍尔器件

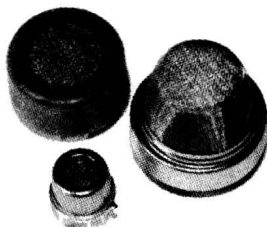


图 1-18 气敏电阻

(7) 气敏电阻。气敏电阻是利用金属氧化物半导体表面吸收某种气体分子时，会发生氧化或还原反应而使电阻值改变的特性制成的电阻器。例如，煤气检测、酒精检测等场合使用的传感器就是气敏电阻，如图 1-18 所示。

【例 1-2】如图 1-19 所示是某电子设备中的一个分压电路。 $R_p=680\Omega$ 的电位器与电阻 R_1 、 R_2 串联, 已知 $R_1=R_2=550\Omega$, 电路输入电压 $U_1=12\text{V}$, 求输出电压 U_2 的变化范围。

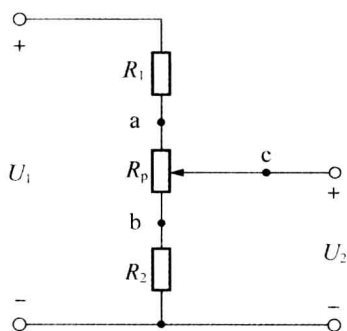


图 1-19 例 1-2 图

解: 电位器实际上是具有 a、b、c 三个端点的可变电阻。当滑动端 c 移动到 a 端时, 电位器全部与 R_2 串联, 输出电压为

$$U_2 = \frac{U_1(R_p + R_2)}{R_p + R_1 + R_2} = \frac{(680 + 550) \times 12}{680 + 550 + 550} \approx 8.29\text{V}$$

滑动端 c 移动到 b 端时, 电位器全部与 R_1 串联, 输出电压为

$$U_2 = \frac{R_2 U_1}{R_p + R_1 + R_2} = \frac{550 \times 12}{1780} \approx 3.71\text{V}$$

调节电位器时, 输出电压可在 $3.71 \sim 8.29\text{V}$ 之间变化。

【例 1-3】求如图 1-20(a)所示电路 ab 端的等效电阻 R_{ab} 。

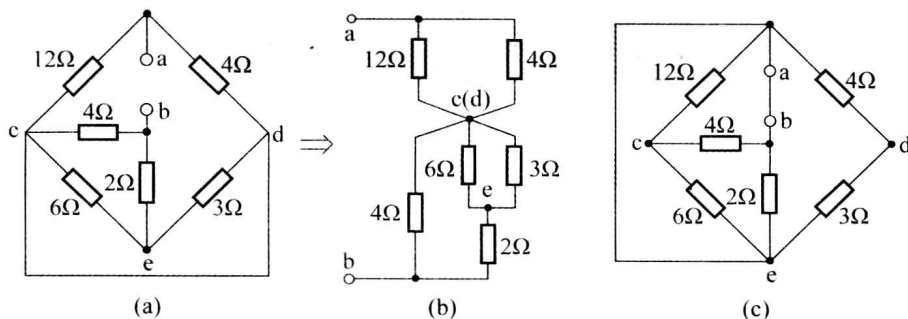


图 1-20 例 1-3 图

解: 分析无源二端网络 ab 端的等效电阻(即输入电阻), 必须正确识别电阻的串、并联关系。为了便于分析, 可将电路内所有结点标上字母, 且缩短无电阻支路(即短路线), 在不改变电路连接关系的前提下, 可在引出端钮 a、b 之间, 逐一分析结点之间的电阻, 适当改画电路图, 以便识别电阻串并联关系。

在图 1-20(a)中, 用 c、d、e 标出其余各结点, c、d 间因为是短路线连接, 实质为一点。从 a 点开始, 12Ω 、 4Ω 电阻出自 a 点连接于 c(d), 从 c(d)分出 4Ω 、 6Ω 、 3Ω 三个电阻, 其中 4Ω 电阻连接到 b 端, 6Ω 和 3Ω 电阻连接到 e, 再由 e 出来经 2Ω 电阻到 b。这样在不改变电路连接关系的情况下, 原电路图可画成如图 1-20(b)所示的形式, 电阻间串、并联关系就比较清楚了。可见等效电阻为

$$R_{ab} = \frac{12 \times 4}{12 + 4} + \frac{4 \times \left(\frac{6 \times 3}{6 + 3} + 2 \right)}{4 + \left(\frac{6 \times 3}{6 + 3} + 2 \right)} = 3 + 2 = 5\Omega$$

需要注意的是,在电路改画过程中,必须从 a 端顺势画到 b 端,而不能中途改变方向。图 1-20(a)中不改变各电阻阻值,将 a、e 间用短路线连接如图 1-20(c)所示,那么 a、b 之间等效电阻 R_{ab} 等于多少呢?读者可自行分析。(注意:在图 1-20(c)中 ade 支路的 4Ω 电阻和 3Ω 电阻被短路线短接。答案: $R_{ab}=1.6\Omega$ 。)

1.1.2.2 电源

电源的作用是把其他形式的能量转变成电能,向用电设备提供能量驱动支持的装置。作为电流能够流动的动力源泉,电源分交流电源和直流电源两种。

在实践中,电源一般有 3 种形式:它可以是一个电池,一个发电机,或一些电子电源的组合。图 1-21 所示的就是常见个人计算机中的电源,它可以提供 3.3V(CPU、南北桥芯片、DDR 内存、PCI 接口)、5V(TTL 接口、USB、软驱)、12V(CMOS 器件、散热风扇、硬盘、光驱、RS-232 接口)等多种电压,为计算机的正常工作提供动力。



图 1-21 计算机电源

在电路分析计算中,常把实际电路元件理想化,把常见的电源分为电压源和电流源两种。

1. 电压源

电压源是向负载提供一个确定电压的装置。经常接触到的电源大多是电压源或者是可以转换为电压源模型而进行运算的电源,其电路模型及伏安特性如图 1-22 所示。

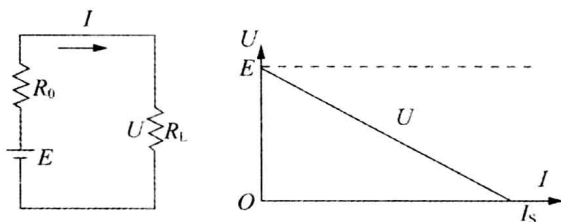


图 1-22 电路模型及伏安特性

如图 1-22 所示,电压源的端电压 $U=E-IR_0$,开路电压 $U=E$,短路电流 $I_s=\frac{E}{R_0}$ 。

在电路理论中,为便于分析,常常采用理想电压源模型,即认为电源的内阻 R_0 为 0 或